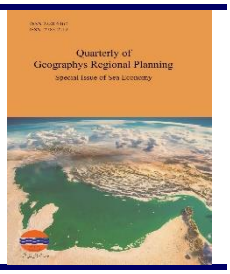
Iranian Association of Geopolitical

Geography (Regional Planning)

Winter 2024. Vol 14. Issue 57

ISSN (Print): 2228-6462 - ISSN (Online): 2783-2112

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Energy Consumption Reduction Using Traditional Windcatchers of Bandar Laft

Maziar Asmani[*1], Mohammad Atashinmaah[2]

1. Department of Computer Engineering, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran
2. PhD student in Architecture, Qeshm International Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran / the Mayor of Laft Port

ARTICLEINFO

PP: 1-13

Use your device to scan and read the article online

Keywords: *Windcatcher, Energy Efficiency, Bandar Laft*

Abstract

This research examines and analyzes the impact of wind on the formation of wind-catcher architecture in Hormozgan province, focusing particularly on wind-catchers as one of the key elements in the design of indigenous architecture. Utilizing multiple sensors and collecting meteorological data, this study demonstrates that wind-catchers can effectively control temperature and humidity, improving thermal comfort conditions in buildings. The results of field studies indicate that the temperature in the lower rooms of wind-catchers is on average 3 to 4 degrees cooler than the surrounding environment. This temperature reduction is due to the creation of lower air pressure in the lower section of the wind-catcher compared to the ambient air pressure, which leads to a continuous airflow from the environment into the wind-catcher. Based on the calculations performed, the use of a single wind-catcher can result in an annual energy saving of 131,328 kilowatt-hours. Furthermore, considering the presence of 168 wind-catchers in the port of Lavan, it can be estimated that the annual savings for this port amounts to approximately 43 billion rials. This research also explores strategies to enhance the performance of wind-catchers, including insulation and the installation of wind turbines at their openings. These modifications could contribute to increasing the efficiency of wind-catchers and energy production. Ultimately, this research emphasizes the importance of revitalizing and updating indigenous architectural techniques for the optimal use of renewable energy and suggests that architects and designers should leverage these rich experiences to design sustainable and efficient buildings.

Citation: Asmani, M., Atashinmaah, M. (2024). **Energy Consumption Reduction Using Traditional Windcatchers of Bandar Laft**. Geography (Regional Planning), 14(57), 1-13

DOI: 10.22034/jgeoq.2024.491769.4181

* **Corresponding author:** Maziar Asmani, **Email:** maziarasmani.bin@gmail.com

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

Climate design in a region plays a significant role in environmental comfort conditions. In regions with a specific climate, this issue is more important. Wind plays a very important role in shaping the form of the city, the orientation and width of the passages, the location of houses, and the type of housing in the region. In coastal regions, heat and humidity are considered two dominant climatic factors, and wind is a common response to controlling these two factors. Indigenous people have tried to use wind to create temperature balance with solutions. This study examines and analyzes the effect of wind on the formation of wind-based architecture and its application solutions. The indigenous architecture of each region has an impact on architecture. Hormozgan province, with its hot and humid climate, is one of the most challenging climates in design, and the way buildings are designed to create thermal comfort is very important. Regional wind is one of the most important factors in creating air flow and cooling in houses. Wind, as a sustainable and renewable energy, can have different applications, including cooling and creating blinds inside the space. Throughout history, in the central and desert regions of Iran, a tower-like structure called a windcatcher was used, the task of which was to transfer air from outside the structure to inside the structure. Hormozgan province and Bandar Laft are no exception to this rule and use wind to achieve thermal comfort. Windcatchers had a variable cross-section and height, the minimum of which was 2 meters and the tallest windcatchers were about 30 meters above the level of the yard. The most common cross-section is square-rectangular, while square and octagonal sections have also been used. In this research, reducing electricity consumption by cooling the environment using a windcatcher was the goal, and this was achieved by placing multiple sensors at different points of the windcatcher to obtain meteorological data.

Methodology

This research is a field research type that used temperature, humidity and pressure sensors in the mouth of the windcatchers and its lower part to provide data to the server 18 times per hour. After the data was collected, it was categorized and averaged in Excel, and the reason for the pressure difference was measured.

Results and Conclusion

The research findings show that considering a 3-degree temperature drop and using relations 1, 2, and 3, the amount of heat was calculated, and the amount of energy saved from cooling by the wind turbine represents a saving of 65,686 kilojoules, equivalent to 62,258 British Thermal Units (BTU), equal to 18.24 kilowatt hours. These values were calculated for one hour, and if the heat was calculated for 10 months. If the price per kilowatt hour is 1980 rials, the amount of savings for one wind turbine is 403,122,260 rials, and considering the number of 168 wind turbines in Bandar Loft, the approximate savings amount is 45 billion rials .According to the studies conducted, it can be stated that the structure of the windbreak, especially the windbreaks in southern Iran, due to the lower air pressure in the lower part of the windbreak compared to the air pressure in the open environment, we will always see air flow from the open environment into the windbreak, which makes the heat tolerance bearable during most of the year. The data from the sensors in this study showed that the lower part of the windbreak is between 3 and 4 degrees cooler than the open environment and always has a breeze, and if the wind is blowing, these numbers will be higher. It is also possible to increase its efficiency by using insulation and minor changes in the existing windbreak structure. In some types of windbreaks, a wind turbine can be installed in their opening, and the rotation of the turbine can also help produce energy and save money due to the presence of a permanent flow.

References

1. Bahadori, M. N. (1985). "An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling." Solar energy 35(2): 119-129.

2. Bouchahm, Y., et al. (2011). "Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate." Renewable Energy 36(3): 898-906.

3. Eiraji, J. and S. A. Namdar (2011). "Sustainable systems in Iranian traditional architecture." Procedia Engineering 21: 553-559.

4. Hedayat, et al. (2015). "Investigating Forming Elements and Their Existential Reasons in Historical Houses in Bushehr." Hot and Dry Climate Architecture 3(3): 35-52. [In Persian]

5. Hidayahtuljamilah Ramli, N. (2012). "Re-adaptation of Malay house thermal comfort design elements into modern building elements–Case study of Selangor traditional Malay house & low energy building in malaysia." Iranica Journal of Energy & Environment 3(5).

6. Kalantar, V. (2009). "Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region." Renewable Energy 34(1): 246-254.

7. Mahdavinejad, M. J., et al. (2012). "Utilization of wind power as a renewable energy in asbads, case of Iran, Sistan." Advanced Materials Research 433: 1141-1145.

8. Mahmoudi, et al. (2008). "An Analysis of the Architectural Typology of Yazd Wind Catchers and Finding the Optimal Functional Type." Fine Arts 36. [In Persian]

9. Montazeri, H. and R. Azizian (2009). Experimental study on natural ventilation performance of a two-sided wind catcher, SAGE Publications Sage UK: London, England.

10. Moradbeigi, et al. (2023). "Investigating the Relationship between Spatial Organization and Lifestyle in Courtyard Houses in Ilam City from the 1950s to 1990s." Iranian Architectural Studies 12(23): 179-194. [In Persian]

11. N.Y.C, S. (1991). Air flow in and around building. energy management. Bangkok.

12. Nik Ghadam and Niloufar (2013). "The Pattern of Semi-Open Spaces in Native Houses of Dezful, Bushehr, and Bandar Lengeh in Relation to Local Climate Components." Fine Arts - Architecture and Urban Planning 55(18): 69-80. [In Persian]

13. Ozay, N. (2005). "A comparative study of climatically responsive house design at various periods of Northern Cyprus architecture." Building and environment 40(6): 841-852.

14. Ranjbar, et al. (2010). "Climate Design Creativity Appropriate to Wind Flow in the Old Texture of Bushehr." Bagh-e-Nazar 7(13): 17-34. [In Persian]

15. Rubin, E. S. and C. I. Davidson (2001). Introduction to Engineering and the Environment, McGraw-Hill New York.

16. Salimian, N. and S. Hejazi-Kenari (2016). Paying Attention to Nature and Sustainable Systems in Iranian Native Architecture Case Study: Intellectual Building. Second International Conference on New Research Findings in Civil Engineering, Architecture and Urban Management. [In Persian]

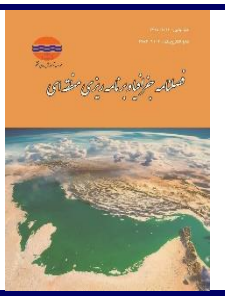
17. Sharifi, et al. (2022). "Explanation of Wind Catcher Structure in Creating Natural Ventilation in Hot and Humid Climate; Case Study: Bandar Pahel-Hormozgan Province." Housing and Rural Environment 41(180): 31-42. [In Persian]

18. Valian, et al. (2021). "Climatic Zoning of Shahrood County Based on Windbreak Location Indicators and Parameters Affecting Thermal Comfort." Application of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Planning 12(2): 7-26. [In Persian]

19. Yaghoubi, M., et al. (1998). "Numerical Analysis of Two-Dimensional Wind Flow in and Around Rectangular Buildings Part I: Modelling and Simulation." Wind Engineering: 81-97.

20. Yasuri, H. N., et al. (2020). "Evaluation of regional variables of residential buildings in hot and dry climates based on analysis and comparison of sustainable assessment systems." Sustainable Architecture and Urbanism 8(1): 31-48. [In Persian]

21. Yazdi, et al. (2021). "Investigating the relationship between physical components of native houses in hot and dry climates of Iran (Case study: Qajar houses of Yazd)." Bagh-e-Nazar 18(96): 59-76. [In Persian]



فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۴، شماره ۵۶، پاییز ۱۴۰۳

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

کاهش مصرف انرژی با استفاده از بادگیرهای سنتی بندر لافت

مازیار اسمنی*– گروه مهندسی کامپیوتر، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران.

محمد آتشین ماه– دانشجوی دکتری معماری، واحد بین الملل قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران/ شهردار بندر لافت

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۱-۱۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

بادگیر، صرفه‌جویی انرژی، بندر لافت

چکیده

این پژوهش به بررسی و تحلیل تأثیر باد بر شکل‌گیری معماری بادپایه در استان هرمزگان می‌پردازد و به‌ویژه بر روی بادگیرها به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی در طراحی معماری بومی تمرکز دارد. با استفاده از حسگرهای متعدد و جمع‌آوری داده‌های هواشناسی، این مطالعه نشان می‌دهد که بادگیرها می‌توانند به طور مؤثری دما و رطوبت را کنترل کنند و شرایط آسایش حرارتی را در ساختمان‌ها بهبود بخشند. نتایج مطالعات میدانی نشان می‌دهد که دمای اتاق‌های تحتانی بادگیرها به طور میانگین ۳ تا ۴ درجه خنک‌تر از محیط آزاد است. این کاهش دما به دلیل ایجاد فشار هوای کمتر در بخش تحتانی بادگیر نسبت به فشار هوای محیط آزاد است که منجر به جریان مداوم هوا از محیط به درون بادگیر می‌شود. بر اساس محاسبات انجام شده، استفاده از یک بادگیر می‌تواند به صرفه‌جویی سالانه ۱۳۱۳۲۸ کیلووات‌ساعت انرژی منجر شود. علاوه بر این، با توجه به وجود ۱۶۸ بادگیر در بندر لافت، می‌توان تخمین زد که صرفه‌جویی یک‌ساله برای این بندر به حدود ۴۳ میلیارد ریال می‌رسد. این پژوهش همچنین به بررسی راهکارهای بهبود عملکرد بادگیرها، از جمله عایق‌سازی و نصب توربین‌های بادی در دهانه آن‌ها، می‌پردازد. این تغییرات می‌تواند به افزایش راندمان بادگیرها و تولید انرژی کمک کند. در نهایت، این پژوهش بر اهمیت احیای و به‌روزرسانی تکنیک‌های معماری بومی برای استفاده بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید می‌کند و پیشنهاد می‌کند که معماران و طراحان باید از این تجربیات غنی برای طراحی ساختمان‌های پایدار و کارآمد استفاده کنند.

استناد: اسمنی، مازیار؛ آتشین ماه، محمد (۱۴۰۳). **کاهش مصرف انرژی با استفاده از بادگیرهای سنتی بندر لافت**. فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۱۴(۵۷). صص: ۱-۱۳

DOI: 10.22034/jgeoq.2024.491769.4181

* **نویسنده مسئول:** مازیار اسمنی، **پست الکترونیکی:** maziarasmani.bin@gmail.com

مقدمه

طراحی اقلیمی در یک منطقه، نقش بسزایی در شرایط آسایش محیطی دارد. در مناطقی با اقلیم خاص، این موضوع مهمتر است. باد نقش بسیار مهمی در شکلگیری فرم شهر، جهتگیری و عرض معابر، قرارگیری خانه ها و گونهٔ مسکن منطقه دارد. در مناطق ساحلی، گرما و رطوبت دو عامل اقلیمی غالب محسوب می شوند و باد پاسخ مشترکی برای کنترل این دو عامل است. مردم بومی با راهکارهایی سعی در استفاده از باد برای ایجاد تعادل دمایی داشته اند. در این پژوهش به بررسی و تحلیل تأثیر باد بر شکل گیری معماری بادپایه و راهکارهای به کارگیری آن پرداخته شده است. مطالعات و مشاهدات میدانی نشان می دهد در معماری بومی ، راهکارهای متفاوتی برای استفاده از باد در سکونتگاهها استفاده شده است که احیا و به روزرسانی آ نها می تواند پاسخ مناسبی برای چگونگی استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر باشد. معماری بومی هر منطقه، بر معماری تأثیرگذار هستند. معماری عناصر طبیعی به عنوان مهمترین عناصر و مؤلفه های شکلدهنده خصایص آن است. از مهمترین عوامل تأثیرگذار بومی ایران نیز مستثنی از این قضیه نیست و توجه و سازگاری با طبیعت از مهمترین فضاها و جهت گیری خانه ها، شرایط آب و هوایی و بر مسکن در شهرهای مختلف استان هرمزگان به لحاظ طراحی، اقلیم منطقه است. ایجاد آسایش دمایی و نحوهٔ برخورد با گرما در شکلگیری مناطق گرم و خشک و گرم و مرطوب ایران اهمیت بالایی دارد. استان هرمزگان با اقلیم گرم و مرطوب یکی از اقلیم های چالش برانگیز در طراحی است و نحوهٔ طراحی بنا به منظور ایجاد آسایش دمایی، بسیار مهم است. این اقلیم موجب شده افراد ساکن در این استان راهکارهایی برای کنترل رطوبت و گرمای هوا به کار گیرند. باد منطقه ای جزء مهمترین عوامل ایجاد جریان هوا و سرمایش در خانه ها به شمار می رود و از عواملی است که در مناطق ساحلی می تواند بر طراحی و شکلگیری فضاها تأثیرگذار باشد. مناطق با اقلیم گرم و مرطوب، بیشترین نیاز به وزش مناسب باد جهت دستیابی به آسایش حرارتی دارندرنجبر و همکاران، ۲۰۱۰) . باد به عنوان عنصر اقلیمی شاخص شهرهای ساحلی، تأثیر قابل توجهی بر زندگی انسان و محیط پیرامون آن می گذارد. استفاده از باد در فضاهای خانه، علاوه بر تأمین نیازهای برودتی انسان، می تواند موجب خلق ایده های جدید برای کالبد بنا شود. امروزه به علت کمبود منابع انرژی تجدیدناپذیر، رویکرد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر همچون باد، از اهمیت بالایی برخوردار است. باد به عنوان یک انرژی پایدار و تجدیدپذیر، می تواند کاربردهای متفاوتی اعم از سرمایش و ایجاد کوران داخل فضا داشته باشد. در مناطقی که باد به عنوان یک پدیدهٔ دائمی است، می توان از آن در جهت جابه جایی هوا استفاده کرد. در طول تاریخ در مناطق مرکزی و کویری ایران از سازه ای برج مانند بنام بادگیر استفاده می شد که وظیفه آن انتقال هوای خارج از سازه به درون سازه بود که این عمل با توجه به فشار کمتر درون خانه ایجاد کننده مکش می نمودو به همین دلیل آسایش حرارتی در فصل های گرم را ایجاد می نمود (Bahadori, 1985) . بادگیرها دارای سطح مقطع و ارتفاع متغیری بودندکه کمینه آن ۲ متر از سطح بام و با توجه به ارتفاع بنا در حدود ۵ متر از سطح زمین بود و بلندترین بادگیرها هم در حدود ۳۰ متر از سطح حیاط خانه مرتفع بود اما متداولترین ارتفاع در حدود ۸ متر ساخته شده است. متداول ترین سطح مقطع، مربع – مستطیل است در حالی که از مقاطع مربعی شکل و ۸ وجهی نیز استفاده شده است (نایبی، ۱۳۸۱) . بادگیر همانگونه که از نام آن پیداست جزیی از کالبد ساختمان های مناطق گرم و خشک و یا گرم و مرطوب ایران به شمار می رود که با هدایت جریان باد و بهره گیری از انرژی پاک طبیعت در تعدیل دما و رساندن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش مؤثری داشته است(محمودی و همکاران، ۲۰۰۸). استان هرمزگان و بندر لافت نیز از این قاعده مستثنی نیستند و برای رسیدن به آسایش حرارتی از باد استفاده می کنند. در این پژوهش کاهش مصرف انرژی برق به واسطه خنک سازی محیط با استفاده از بادگیر مورد نظر بوده و این امر با استفاده از قراردادن حسگرهای متعدد در نقاط مختلف بادگیر اقدام به اخذ داده های هواشناسی نموده است.

پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی مطالعات پیشین انجام شده در زمینهٔ تأثیر باد بر شکل گیری معماری پرداخته می شود. منطقهٔ گرم و مرطوب ایران دارای یکی از بحرانی ترین اقلیم های جهان بوده و لحاظ کردن مؤلفه های اقلیمی در طراحی خانه ها در این منطقه، ضروری است. خانه های بومی ایران ارتباط معنی داری با مؤلفه های اقلیمی محل خود دارند(نیکقدم، ۲۰۱۳) . محمدرضا حائری مازندرانی در کتاب «خانه، فرهنگ، طبیعت» معتقد است، برای توانمندسازی فضا می توان از شیوه های معماری خانه های بومی در جهت رسیدن

به الگوهای معماری برای خانه های امروزی استفاده کرد. در تنظیم سازمان فضایی، توجه به اقلیم و طبیعت در جهت صرفه جویی در انرژی بسیار مهم است. به همین علت برای ایجاد شبکهٔ فضایی هدایتگر، عوامل طبیعی از جمله جهت وزش باد و تابش خورشید در طراحی فضاها و تعیین عناصر معماری اهمیت بالایی دارند(مرادبیگی و همکاران، ۲۰۲۳). امروزه طرح های ما به گونه ای است که ساختمان ها در طی تابستان بسیار گرم و حتی گرم تر از محیط اطراف خود است و در زمستان نیز بسیار سرد و از لحاظ آسایش ناراحت کننده است و حتی به کمک تکنولوژی مدرن و تحمل هزینهٔ بسیار نیز در مواردی آسایش و آرامش فراهم نگردیده و در صورتی که به هر دلیل این دستگاه ها از کار بیفتند، زندگی در چنین ساختمان هایی بسیار مشکل می شود (قبادیان، ۲۰۲۰ به نقل از سلیمیان و حجازی کناری، ۱۳۹۵). بنابراین ما امروزه باید به منابع انرژی جدید به منظور پاکسازی زمین و همینطور کاهش استفاده از منابع نفت فکر کنیم. بهتر است که به محیط و انرژی طبیعی و بازسازی دوبارهٔ رابطهٔ بین انسان و طبیعت، چیزی که معماران ایرانی در سال های بسیار دور انجام می دادند بازگردیم(Eiraji and Namdar 2011) (سلیمیان و حجازی کناری، ۱۳۹۵) (نیکقدم، ۲۰۱۳). در پژوهش خود معتقد است، اقلیم گرایی دیدگاهی بنیادی در طراحی خانه های بومی ایران بوده است و فضاهای نیمه باز در شکل دادن به الگوهای اقلیمی خانه های بومی ایران نقش مؤثری داشته اند؛ از این رو به کارگیری الگوهای فضاهای نیمه باز خانه های بومی در مناطق گرم و مرطوب ایران در طراحی مسکن معاصر این اقلیم، می تواند سبب مصرف بهینهٔ انرژی و ارتقای سطح آسایش شود. او نقش اقلیمی حیاط مرکزی را در اقلیم گرم و مرطوب بررسی کرده است. در مطالعاتی که در مورد مناطق با اقلیم گرم و مرطوب انجام گرفته، راهکارهایی از جمله ایجاد سایه و نفوذ حداقل تابش و گرمای خورشید به داخل ساختمان و استفاده از جریان طبیعی هوا و به کارگیری بادهای غالب و نسیم های محلی برای مقابله با گرما و رطوبت پیشنهاد شده است. یزدی و همکاران در پژوهشی رابطهٔ میان اجزای کالبدی خانه های یزد در دوران قاجار و نحوهٔ تعامل آن ها با اقلیم گرم و خشک آن منطقه را بررسی کرده اند(یزدی و همکاران، ۲۰۲۱). آنها نشان می دهد تناسبات دقیقی بین اجزای معماری خانه ها، حیاط مرکزی و سایر فضاها و اقلیم آن منطقه وجود دارد. پژوهش آن ها از لحاظ اقلیم بررسی شده، با این پژوهش تفاوت دارد. مطالعه ای در مورد خانه های سنتی بوشهر نشان می دهد که خانه هایی که در اقلیم گرم و مرطوب هستند و در امتداد خط ساحلی ساخته شده اند، از نسیم دریا به خشکی برای ایجاد تهویهٔ طبیعی استفاده می کنند. ایجاد کوران هوا توسط تعبیهٔ بازشوها در جداره های درونی و بیرونی در تقلیل شرجی و گرمای شدید هوا نقش اساسی دارد. همچنین از فضاهای باز، نیمه باز و بسته در تعامل با یکدیگر، علاوه بر افزایش تنوع فضایی در خانه های بومی بوشهر، پاسخ های منطقی به نیازهای فرهنگی، اقلیمی و شیوهٔ زندگی ساکنان داده است(هدایت, طبائیان et al. 2015). مطالعه ای دیگر در مورد خانه های مالایی در سنگاپور، با درک عمیق و احترام به طبیعت طراحی شده اند، اما این طراحی همگام با طبیعت دیگر در ساختمان های مدرن یافت نمی شود. طراحی خانه های بومی منطبق با طبیعت و فرهنگ منطقه بوده و آسایش حرارتی برای ساکنین برآورده شده است. در مطالعهٔ او عناصر آسایش حرارتی خانه های مالایی مجدداً استخراج شده و مواردی از جمله جهت گیری ساختمان، استفاده از هوای طبیعی و تهویهٔ مناسب و چیدمان فضاهای داخلی در رسیدن به آسایش حرارتی، در ساختمان و پایداری مؤثر است(Hidayahtuljamilah Ramli, 2012). در مطالعهٔ ذکر شده مکان جغرافیایی متفاوتی بررسی شده است اما از لحاظ اقلیم بررسی شده مشابهاتی با این پژوهش دارد. منتظری با بررسی بادگیرهای یک طرفه و دو طرفه و بررسی میزان کارایی آن ها به این نتیجه دست یافت که بادگیرهای دوطرفه عملکرد بهتری در زمینه ایجاد تهویهٔ طبیعی هوا در خانه ها و سرمایش، نسبت به بادگیرهای یک طرفه دارند. این مطالعه با تأکید بر بادگیرهای یک طرفه و دو طرفه انجام شده است و با این پژوهش تفاوت دارد(Montazeri and Azizian, 2009).

ما امروزه باید به منابع انرژی جدید به منظور پاکسازی زمین و همینطور کاهش استفاده از منابع نفت فکر کنیم. بهتر است که به محیط و انرژی طبیعی و بازسازی دوبارهٔ رابطهٔ بین انسان و طبیعت، چیزی که معماران ایرانی در سال های بسیار دور انجام می دادند بازگردیم(Eiraji and Namdar, 2011) . یکی از عناصر معمارانه در ایران که توانسته از باد در جهت تعادل دمایی استفاده کند، بادگیر است. بادگیر به عنوان یک سیستم سرمایشی است که با رویکرد اقلیمی در خانه های مناطق گرم و خشک و گرم و مرطوب ایران ساخته می شود و با قرار گرفتن در مسیر باد و هدایت آن به داخل ساختمان، موجب کاهش دما در داخل بنا می شود(یاسوری و همکاران، ۲۰۲۰). بادگیرها برج هایی هستند که از قرن ها پیش در اقلیم گرم برای انتقال هوای بیرون به داخل فضای مسکونی و مکش هوای درون به بیرون جهت کمک به برقراری آسایش حرارتی در تابستان از آن ها استفاده شده است(Bahadori, 1985).

بادگیر همان گونه که از نام آن پیدا است جزئی از کالبد ساختمان های مناطق گرم و خشک و یا گرم و مرطوب ایران به شمار می رود که با هدایت جریان باد و بهره گیری از انرژی پاک طبیعت در تعدیل دما و رساندن دمای فضای سکونتی به دمای آسایش انسان نقش مؤثری داشته است(محمودی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به مطالعات، در جنوب کشور بهترین نمونهٔ بادگیرها را می توان در بندرلنگه و بندر کنگ ملاحظه کرد. بادگیرهای حجیم چهارطرفه، نشان اصلی این دو بندر قدیمی است. طرز کار بادگیرهای این منطقه، مشابهٔ بادگیرهای مرکزی ایران است، فقط عملکرد برودتی این بادگیرها از طریق جابه جایی هوا صورت می گیرد(یاسوری, شمیرانی et al. 2020). در ابتدای قرن جدید، مصرف انرژی به موازات توسعه اقتصادی و تکنولوژیک افزایش یافته و انتظار می رود در چند دهه دیگر این نیاز همچنان بیشتر گردد. انرژی در دستیابی به توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیطی در راستای توسعه انسانی محوریت دارد. در این میان، ایران با جمعیت یک درصدی از جمعیت جهان، حدود ۹ درصد از نفت و فرآورده های آن را مصرف می کند(Rubin and Davidson, 2001). همچنین در دهه ی اخیر، سرانه مصرف انرژی در ایران حدود پنج برابر سرانه جهانی آن است(Bahadori, 1985). بنابراین امروزه به علت رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود منابع سوخت های فسیلی و آلودگی های شدید زیست محیطی ناشی از احتراق آن ها، ضرورت به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر جهت کاهش مصرف سوخت های فسیلی، افزایش یافته است. یکی از راه های کاهش مصرف سوخت های فسیلی، ساخت واحدهای ساختمانی به گونه ای است که دارای کمترین نیاز به مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش آن ها باشد. این مهم با بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر به دلیل داشتن ظرفیت بی پایان و قابلیت ارائه انرژی با کمترین آلودگی محیطی قابلیت تحقق خواهد شد.

با نگاهی به بافت مجتمع های زیستی درمی یابیم که استفاده از انرژی های تجدیدپذیر مانند آفتاب، باد، و غیره از دیرباز مورد توجه انسان بوده است. بی آنکه در این زمینه، سهم یا وزن عوامل فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی نادیده انگاشته شود، نحوه قرارگیری مساکن، فضاهای پر و خالی، استقرار پلان و بنا، توزیع معماری، مصالح مورد استفاده و همه و همه در ارتباط با پدیده اقلیم تعریف و تنظیم می شد. استفاده از روش های غیر فعال و پاک در معماری سنتی در غیاب وسایل مکانیکی تأمین کننده آسایش حرارتی، در طول هزاران سال تجربه ساخت بومی بدست آمده است. بهره گیری از این روش ها در ساختمان های امروزی، می تواند بهترین راه برای تأمین آسایش حرارتی این ساختمان های مدرن باشد. بطور مسلم، امروزه شناخت و ارزیابی نقش اقلیم بر بافت و بناهای سنتی جزو مهم ترین برنامه ها و اولویت ها در کاهش مصرف انرژی، استفاده از منابع طبیعی به جای سیستم های مکانیکی و ایجاد فضای زندگی راحت، سالم و بادوام می باشد(Ozay, 2005). معماری سنتی ایران، با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت در کشور، راه حل های متنوعی را در طول هزاران سال برای افزایش شرایط آسایش حرارتی انسان با استفاده از دیوارهای بلند، استفاده از خصوصیات عایقی مواد طبیعی مانند کاهگل، ساختن طاق ها و گنبدها و در نهایت بادگیر، ارائه نموده است. هماهنگی میان بخش های مختلف سازه، تاسیسات و طراحی معماری، از جلوه های تحقق حکمت معماری اسلامی در معماری سنتی ایران است(Mahdavinejad et al. 2012) . همچنین استفاده از جریان طبیعی هوا به عنوان ابزاری برای ارتقای آسایش اقلیمی، یکی از تدابیری است که در معماری سنتی ایران از سابقه ای طولانی برخوردار است . منتظری با بررسی بادگیرهای دو طرفه و مقایسه آن با بادگیر یک طرفه به این نتیجه رسید که بادگیر دو طرفه ۲- درصد کارایی بهتری در رفتار سرمایش نسبت به بادگیر یک طرفه دارد(Montazeri and Azizian, 2009) . همچنین منتظری و همکارانش در آنالیز رفتار حرارتی و سرمایش بادگیرهای دو طرفه با مدل سازی ماکتی در مقیاس یک به چهل، و قرار دادن آن در محیط توتل باد مکانیکی، عملکرد این بادگیرها در تهویه طبیعی را مثبت ارزیابی نمودند. کلانتر با مقایسه ی بادگیر با سطوح مرطوب و خشک به این نتیجه رسید که بادگیر با سطوح مرطوب، علیرغم هزینه برابر عملکرد بهینه تری نسبت به بادگیر با سطوح خشک دارا می باشد(Kalantar, 2009) . بوکهام و دیگران با مدلسازی عددی بادگیر در شرایط مختلف، به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع بادگیر و همچنین کم کردن عرض پره های داخلی بادگیر می توان جریان هوا و تهویه ناشی از آن را افزایش داد (Bouchahm et al. 2011). با مطالعه اقلیم گرم و مرطوب می توان مهم ترین عامل در ایجاد آسایش حرارتی در این منطقه را تهویه طبیعی قلمداد کرد. لذا نتایج حاصل از این پژوهش برای دستیابی به تجارب معماران سنتی این اقلیم نشان می دهد که استراتژی استفاده از بادگیر در این اقلیم به طور قابل توجهی در بالا رفتن آسایش حرارتی تأثیر داشته است این استراتژیها موجب کاهش مصرف انرژی گشته و از طریق مدل سازی به اثبات رسیده است. باتوجه به بهره گیری از جهت وزش باد دریا به خشکی و برعکس، با بررسی کانتور هوا و فشار، دو جبهه روبه روی هم در این بادگیر عملکردی

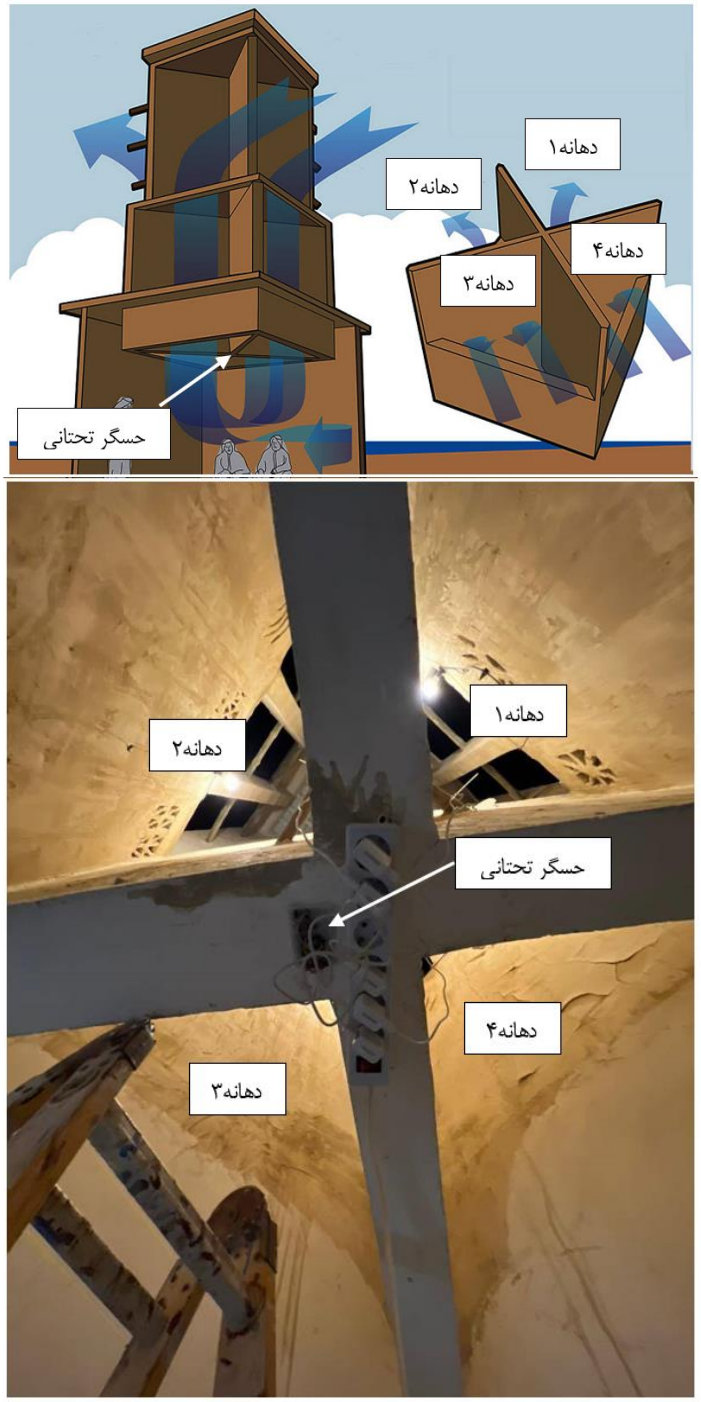
مشابه دارند و دو جبهه جنوب شرقی و شمال غربی عمل مکش هوا و دو جبهه (شمال شرقی و جنوب غربی عمل دمش را انجام می دهد کانتور داخلی اتاق بادگیر نیز قابل توجه است؛ زیرا بادگیر برای هدایت باد به این فضا ساخته می شود. با توجه به بالا بودن کانتور سرعت در نقاط روزنه ها و پایین بودن کانتور فشار این روزنه ها را می توان نقاط اصلی خروج هوا در اتاق ها در نظر گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، آسایش حرارتی در اتاق بادگیر بیشتر از اتاق مجاور آن است و نقش بادگیر در این اتاق در ایجاد آسایش حرارتی کاملاً مشهود است. دمای اتاق بادگیر در مقایسه با اتاق مجاور آن ۴ درجه خنک تر بوده که این موضوع اهمیت سایه اندازی و همچنین کوران هوا در این اقلیم را بیان می کند. به دلیل کوران مکرر هوا در این اتاق اکثراً هوای تازه وجود دارد و سن اتاق بادگیر بسیار پایین است و همواره از هوای تازه برخوردار است(شریفی و همکاران، ۲۰۲۲) .ولیان و همکاران در پژوهشی نشان دادند که در شهر سمنان وجود بادگیرها تا طبقات زیر زمین نیز باعث ایجاد آسایش حرارتی گردیده اند(ولیان و همکاران، ۲۰۲۱).

مبانی نظری

معماری بومی هر منطقه متأثر از اقلیم است و انسان همواره تلاش در ایجاد فضای مناسب زندگی با امکانات و محدودیت های اقلیمی دارد. باد به مثابهٔ عنصر طبیعی مؤثر بر معماری در شکل گیری معماری بومی مؤثر است. در معماری بومی مناطق گرم و مرطوب، راهکارهای مختلفی جهت استفاده از باد به منظور تهویهٔ طبیعی یا خنک کردن فضای داخل توسط معماران بومی ابداع شده است که عملکرد مناسبی جهت بهره گیری از انرژی باد دارند. در این مناطق، عواملی از جمله جهت قرارگیری، الگوی سازمان فضایی و بادگیر در شکل گیری معماری سازگار با اقلیم نقش اساسی دارند. روابط محاسبه گرما و تفاوت دمای ایجاد شده در اتاق تحتانی بادگیر بیانگر اختلاف معنادار دما بین محیط آزاد و محیط خانه می باشد. عامل اصلی حرکت هوا در یک بادگیر، نیروی ثقل است. این فرآیند بدون دخالت هرگونه وسیله ی الکترونیکی حاصل می شود. به همین دلیل مساحت دهانه ی بادگیر باید عریض باشد تا بتواند فشار باد لازم را فراهم نماید. هوای سرد سنگین تر از هوای گرم بوده به سمت پایین به حرکت در می آید و بدین ترتیب جریان خودکار هوا، حتی اگر بادی نیز نوزد، در داخل بادگیر بر قرار می گردد. وزیدن باد این عمل را سریع تر می کند. بادگیرهای معمولی غالباً در پشت بام قرار دارند و ارتفاع آن ها بین ۱۰ الی ۱۵ متر بوده و سطح مقطع آن ها بین ۰/۶ الی یک متر مربع است. ظرفیت هوادهی این بادگیرها بین ۱ الی ۳/۸ متر مکعب بر ثانیه می باشد. تهویه طبیعی برای آنکه تعادل فشار برقرار گردد براساس حرکت هوا و جریان آن در داخل ساختمان ایجاد می گردد(N.Y.C, 1991). اختلاف فشار عمدتاً به واسطه وزش باد یا نیروی شناوری که ناشی از اختلاف چگالی در طبقات مختلف، به وجود می آید. در یک رطوبت یکسان، هوای سرد از هوای گرم سنگین تر است لذا جریان هوا با سقوط هوای سنگین شروع می شود و نیرویی که پشت هوای سبک است باعث می گردد که هوای گرم از مجاری دیگر خارج شده و هر چقدر ارتفاع بادگیر بیشتر باشد، یعنی فاصله از محل ورودی هوا تا محل خروجی هوا بیشتر باشد، اختلاف فشار نیز بیشتر می شود(Yaghoubi et al. 1998). اد باعث می شود که روی دیوارهای رو به باد فشار مثبت ایجاد شده و روی دیوارهای پشت به باد فشار منفی ایجاد شود. از این رو هوای تازه از طرف دیوار رو به باد وارد شده و هوا از طرف دیوار یا محل های پشت به باد خارج می گردد.

روش پژوهش

مطابق شکل۱ ، ۵ حسگر دما، رطوبت و فشار در چهار دهانه بادگیر و بخش تحتانی آن قرار گرفته و اقدام به ارسال داده در هر ساعت ۱۸ مرتبه برای هر حسگر در سرور داده نمودند. در بازه زمانی ۱۰ ماه هشتصد هزار داده ثبت گردید که مطابق شکل ؟؟ علاوه بر ۵ حسگر ذکر شده ۱ حسگر دما، رطوبت و فشار در محیط آزاد نصب گردید. داده ها پس از برداشت در محیط اکسل دسته بندی شده و میانگین گیری گردید و در نهایت مطابق جدول ۱ مشخص شد به دلیل اختلاف فشار ایجاد شده و مطابق اصل برنولی در دهانه های بادگیر و محیط آزاد در هر صورت جریان هوا از طریق بادگیر به اتاقک در حال وزیدن بوده و اختلاف دما حدود ۳ درجه خنک تر در اتاق تحتانی بادگیر صورت می پذیرد.



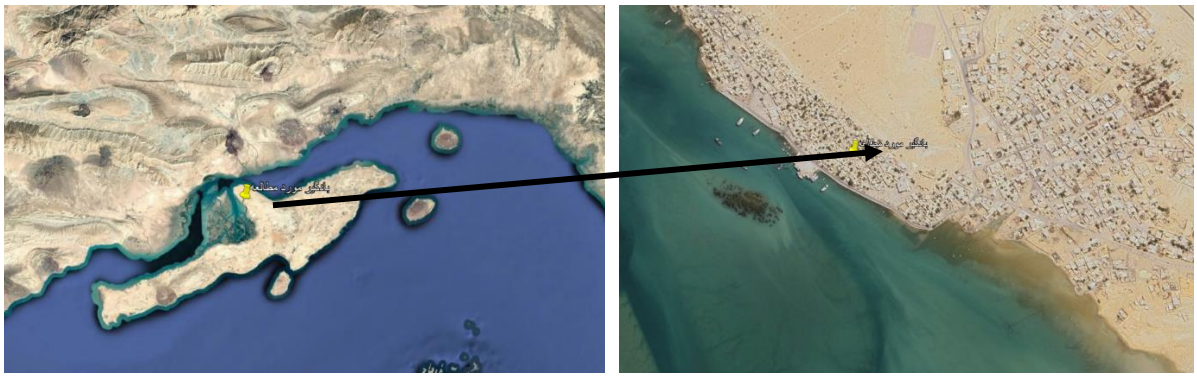
شکل ۱. ساختار بادگیر و محل استقرار حسگر های ۱ تا ۵

جدول ۱. میانگین ده ماه کل داده های حسگر های نصب شده

موقعیت حسگر	دما (سانتیگراد)	رطوبت (درصد)	فشار (هکتو پاسکال)
دهانه ۱	۲۷	۶۷.۴۹	۱۰۲۱.۹۱
دهانه ۲	۲۶.۰۶	۶۵.۶۵	۱۰۱۷.۰۷
دهانه ۳	۲۵.۵۱	۶۷.۲۱	۱۰۱۹.۷۶
دهانه ۴	۲۵.۴۴	۶۶.۶۴	۱۰۲۰.۹۷
بخش تحتانی بادگیر	۲۵.۴۲	۶۵.۷۸	۱۰۱۵.۸۰
محیط آزاد (دمای محیط)	۲۸.۲۷	۵۷.۶۰	۱۰۲۱.۳۴

محدوده موردمطالعه

بندر لافت در شمال غربی جزیره قشم و در پیش‌آمدگی خشکی‌های جزیره واقع شده است. این بندر با مختصات ۵۵ درجه و پنج دقیقه شرقی طول جغرافیایی و ۲۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی عرض جغرافیایی در شرق جنگل حرا قرار دارد. فاصله بندر لافت تا قشم ۲۲ کیلومتر (۲۳ دقیقه) است. این بندر با فرودگاه بین‌المللی قشم، ۲۵/۴ کیلومتر فاصله دارد. فاصله بندر لافت با اسکله مسافربری شهید ذاکری، ۵۶ کیلومتر و تا درگهان، ۳۵ کیلومتر است و نزدیک‌ترین نقطه به بندر پل در جزیره قشم است و اسکله لافت (جابه‌جایی همراه با خودرو) در فاصله هفت‌کیلومتری آن قرار دارد. معماری بندر لافت به دلیل وجود بادگیرهای فراوان، معماری کویری است. در این جزیره دمای هوا در طول تابستان به بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و انعکاس آفتاب در آب در کنار رطوبت شدید هوا، شرایط را برای زندگی بسیار دشوار می‌کند. درگذشته مردم بندر لافت سیستم مناطق کویری را در ساخت خانه‌های خود به کار می‌گرفتند. آن‌ها برای ایجاد هوای خنک در خانه، از بادگیر استفاده می‌کردند. بادگیر ارتفاع بسیاری دارد؛ زیرا باد در ارتفاع قدرت بیشتری پیدا می‌کند و وارد بادگیر می‌شود. به‌این‌ترتیب باد به خانه راه پیدا می‌کند. معماری کویری در خانه‌های لافت نیز به چشم می‌خورد؛ به‌طوری که اتاق‌های تابستانی و زمستانی خانه در اطراف یک حیاط مرکزی و چهارگوش شکل‌گرفته‌اند و باغچه‌ها، شکل نرده‌ها و پنجره‌ها، همه نشانه‌هایی از معماری ایرانی کویری را به نمایش می‌گذارند. ترکیب اتاق‌ها، راهروها و ارتباط آن‌ها با حیاط نیز کاملاً تحت‌تأثیر نواحی مرکزی و حاشیه کویری ایران ایجاد شده است. وجود بادگیرهای فراوان در ساخت خانه‌ها از مشخصه‌های متمایز بندر لافت است. خانه‌های این بندر که با نام بندر بادگیرها نیز مشهور است، بسیار نزدیک به هم ساخته شده‌اند و به همین دلیل، بافتی متراکم و فشرده دارد. کوچه‌ها در لافت به‌طوری طراحی شده‌اند که معمولاً به بن‌بست نمی‌رسند و به محله‌های دیگر راه پیدا می‌کنند. ساختار تنگ کوچه‌ها و نزدیک بودن خانه‌های دو طرف کوچه به یکدیگر سبب می‌شود تا رهگذران از تابش نور آفتاب در امان بوده و همواره کانالی از باد را تجربه نمایند. موقعیت موردمطالعه در تصاویر ۲ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۲. تصویر ماهواره ای از موقعیت قرار گیری بندر لافت و بادگیر مورد مطالعه

یافته‌های پژوهش

با توجه به کاهش دمای ۳ درجه ای و استفاده از روابط ۱،۲و ۳ مقدار گرما محاسبه گردید که میزان صرفه جویی انرژی حاصل از خنک سازی توسط بادگیر بیانگر ذخیره مقدار ۶۵۶۸۶ کیلوژول معادل ۶۲۲۵۸ واحد گرمای انگلیسی (BTU) برابر با ۱۸/۲۴کیلو وات ساعت می باشد که این مقادیر برای یکساعت محاسبه گریده است و چنانچه برای ۱۰ ماه گرما محسابه گردد دارای مقادیری مطابق جدول ۲ می باشد. چنانچه قیمت هر کیلووات ساعت ۱۹۸۰ ریال در نظر گرفته شود میزان صرفه جویی برای یک بادگیر عدد ۲۶۰/۱۲۲/۴۰۳ ریال می باشد و با توجه به تعداد ۱۶۸ بادگیر موجود در بندرلافت عدد حدودی صرفه جویی برابر ۴۵ میلیارد ریال می باشد.

رابطه ۱ $Q = m \times c_{Air} \times \triangle\theta$

رابطه ۲ $m = \rho_{Air} \times V$

رابطه ۳ $V = L \times H \times W$

در روابط فوق Q میزان گرما بر حسب کیلوژول، m مقدار جرم بر حسب کیلوگرم، V حجم فضای موردمطالعه بر حسب مترمکعب، L طول اتاق بر حسب متر، W عرض اتاق بر حسب متر و W ارتفاع اتاق بر حسب متر است. در روابط فوق مقدار ثابت ۹۹۳ = c و چگالی هوا برابر با ۱/۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود. بر همین اساس میزان گرما مطابق محاسبات زیر است.

$V = 3 \times 3 \times 2 = 18\ m^3$
$m = 1.225 \times 18 = 22.05\ Kg$
$Q = 22.05 \times 993 \times 3 = 65686365\ KJ = 62258.091\ BTU = 18.24\ KWh$

چنانچه قیمت هر کیلووات‌ساعت را ۱۹۸۰ ریال در نظر بگیریم میزان صرفه جویی مالی برای خانه ای با یک بادگیر مشابه این پژوهش مطابق رابطه زیر است:

صرفه‌جویی به ریال = (صرفه جویی کیلو وات ساعت)18.24 × (تعرفه برق به ازا هر کیلو وات ساعت) 1980 × (روز در ماه) 30 × (ساعت شبانه‌روز) 10 * (ماههای مورد مطالعه و استفاده) 24 = **260.122.403**

ازآنجاکه در بندر لافت ۱۶۸ بادگیر وجود دارد می توان میزان صرفه جویی یکساله برای این بندر را حدوداً ۴۳ میلیارد ریال در نظر گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه‌به بررسی‌های به‌عمل‌آمده می‌توان بیان نمود که ساختار بادگیر و به‌خصوص بادگیرهای جنوب ایران به دلیل ایجاد فشار هوای کمتر در بخش تحتانی بادگیر نسبت به فشار هوای محیط آزاد همواره شاهد جریان هوا از محیط آزاد به درون بادگیر خواهیم بود که این امر تحمل گرمای هوا را در زمان زیادی از سال قابل‌تحمل می‌نماید. داده‌های حاصل از حسگرهای موجود در این پژوهش نشان داد که بخش تحتانی بادگیر بین ۳ الی ۴ درجه خنک تر از محیط آزاد بوده و همواره دارای نسیم می باشد و چنانچه باد در حال وزیدن باشد این اعداد بیشتر خواهند بود. با توجه به کاهش دما در بخش تحتانی بر اساس محاسبات انتقال گرما مشخص گردید که صرفه جویی ۱۳۱۳۲۸کیلو وات ساعتی در عرض یک سال برای یک بادگیر صورت می پذیرد که به دلیل کمبود انرژی توجه به این المان سنتی می تواند میزان قابل توجهی را صرفه جویی نماید. همچنین می توان با استفاده از عایق سازی و تغییرات اندک در سازه بادگیر موجود راندمان آنرا افزایش داد. در انواعی از بادگیرها می توان توربین بادی در دهانه آنها نصب نموده و چرخش توربین به دلیل وجود جریان دایمی نیز می تواند به تولید انرژی و صرفه جویی در مصرف کمک نماید.

منابع

۱. رنجبر و همکاران. (۲۰۱۰). خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر. باغ نظر ۷(۱۳): ۱۷-۳۴.

۲. سلیمیان، ن. س. حجازی کناری (۱۳۹۵). توجه به طبیعت و سیستم های پایدار در معماری بومی ایران نمونه موردی: بنای فکری. دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری ومدیریت شهری.

۳. شریفی و همکاران. (۲۰۲۲). تبیین ساختار بادگیر در ایجاد تهویه طبیعی در اقلیم گرم و مرطوب؛ مطالعه موردی: بندر پهل–استان هرمزگان. مسکن و محیط روستا ۴۱(۱۸۰): ۳۱-۴۲.

٤. محمودی و همکاران. (۲۰۰۸). تحلیلی بر گونه شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی. هنرهای زیبا ۳۶.

۵. مرادبیگی و همکاران. (۲۰۲۳). بررسی ارتباط سازمان فضایی و شیوهٔ زندگی در خانه‌های حیاط‌دار دههٔ پنجاه تا نود شهر ایلام. مطالعات معماری ایران ۱۲(۲۳): ۱۷۹-۱۹۴.

٦. نیک قدم، نیلوفر (۲۰۱۳). الگوی فضاهای نیمه‌باز خانه‌های بومی دزفول، بوشهر و بندر لنگه در ارتباط با مؤلفه‌های اقلیم محلی. هنرهای زیبا –معماری و شهرسازی ۵۵(۱۸): ۶۹-۸۰.

۷. ولیان و همکاران. (۲۰۲۱). پهنه‌بندی اقلیمی شهرستان شاهرود براساس شاخص‌های جانمایی بادگیر و پارامترهای موثر بر آسایش حرارتی. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی ۱۲(۲): ۷-۲۶.

۸. هدایت و همکاران. (۲۰۱۵). بررسی عناصر شکل دهنده و دلایل وجودی آنها در خانه های بافت تاریخی بوشهر. معماری اقلیم گرم و خشک ۳(۳): ۳۵-۵۲.

۹. یاسوری، ح. ن.، و همکاران. (۲۰۲۰). ارزیابی متغیرهای منطقه‌ای ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرمو خشک مبتنی بر تحلیل و مقایسه سامانه‌های ارزیابی پایدار. معماری و شهرسازی پایدار ۸(۱): ۳۱-۴۸.

۱۰. یزدی و همکاران. (۲۰۲۱). بررسی رابطهٔ اجزای کالبدی خانه‌های بومی اقلیم گرم و خشک ایران (مطالعهٔ موردی: خانه‌های قاجاری یزد). باغ نظر ۱۸(۹۶): ۵۹-۷۶.

۱۱. نایبی، فرشته(۱۳۸۱)، حیات در حیاط: حیاط در خانه‌های سنتی ایران (اصفهان، کاشان و تهران)، تهران: موسسه انتشاراتی نزهت سبز (نزهت)

12. Bahadori, M. N. (1985). "An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling." Solar energy 35(2): 119-129.

13. Bouchahm, Y., et al. (2011). "Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate." Renewable Energy 36(3): 898-906.

14. Eiraji, J. and S. A. Namdar (2011). "Sustainable systems in Iranian traditional architecture." Procedia Engineering 21: 553-559.

15. Hidayahtuljamilah Ramli, N. (2012). "Re-adaptation of Malay house thermal comfort design elements into modern building elements–Case study of Selangor traditional Malay house & low energy building in malaysia." Iranica Journal of Energy & Environment 3.(۵)

16. Kalantar, V. (2009). "Numerical simulation of cooling performance of wind tower (Baud-Geer) in hot and arid region." Renewable Energy 34(1): 246-254.

17. Mahdavinejad, M. J., et al. (2012). "Utilization of wind power as a renewable energy in asbads, case of Iran, Sistan." Advanced Materials Research 433: 1141-1145.

18. Montazeri, H. and R. Azizian (2009). Experimental study on natural ventilation performance of a two-sided wind catcher, SAGE Publications Sage UK: London, England.

19. N.Y.C, S. (1991). Air flow in and around building. energy management. Bangkok.

20. Ozay, N. (2005). "A comparative study of climatically responsive house design at various periods of Northern Cyprus architecture." Building and environment 40(6): 841-852.

21. Rubin, E. S. and C. I. Davidson (2001). Introduction to Engineering and the Environment, McGraw-Hill New York.

22. Yaghoubi, M., et al. (1998). "Numerical Analysis of Two-Dimensional Wind Flow in and Around Rectangular Buildings Part I: Modelling and Simulation." Wind Engineering: 81-97.